

# БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.245.4

## ВИБІР СКЛАДУ АРМОВАНИХ ТАМПОНАЖНИХ РОЗЧИНІВ

*Я.С. Коцкулич, В.І. Гриманюк**ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (0342) 504691,  
e-mail: [drill@nung.edu.ua](mailto:drill@nung.edu.ua), [tdcentre@nung.edu.ua](mailto:tdcentre@nung.edu.ua)*

*Подано результати лабораторних досліджень впливу штучних армуючих домішок на властивості цементного розчину та міцнісні характеристики цементного каменю. Як армуючі домішки було обрано мікрошластони́т, базальтову та поліпропіленову фібру. Подано коротку фізико-хімічну характеристику армуючих домішок та описано технологію їх виготовлення. Для оцінки тенденцій руйнування тампонажного каменю обрано критерій руйнівної здатності. Проаналізовано результати експериментів та обґрунтовано напрямки подальших досліджень.*

Ключові слова: тампонажний камінь, міцність, армування, фібра.

*Предоставлены результаты лабораторных исследований влияния искусственных армирующих добавок на свойства цементного раствора и прочностные характеристики цементного камня. В качестве армирующих добавок предлагаются микрошластони́т, базальтовая и полипропиленовая фибра. Изложена краткая физико-химическая характеристика армирующих добавок и описана технология их производства. Для оценки тенденции разрушения тампонажного камня избран критерий разрушающей способности. Проанализированы результаты экспериментов и обосновано направление для дальнейших исследований.*

Ключевые слова: тампонажный камень, прочность, армирование, фибра

*In the article authors has been analyzed the results of laboratory research work of how the admixture of synthetic material to cement slurry influences on it properties and strength of cement stone. Wollastonite, basaltic fibre and polypropylene fibre are chosen as reinforcement additive. It has been given short physico-chemical characteristic of reinforcement additive and the technology of their manufacturing. For evaluation of cement stone destruction tendency has been chosen the ruin ability criteria. It has been analyzed the results of experiments. The direction of further scientific research has been chosen.*

Key words: cement stone, strength, reinforcement, fibre.

Тампонажний камінь, розміщений між обсадною колоною і стінкою свердловини, має забезпечувати герметичність кільцевого простору впродовж усього терміну її експлуатації. Герметичність кільцевого простору свердловини залежить від багатьох чинників, а саме від повноти заміщення промивальної рідини цементним розчином у заколонному просторі, властивостей цементного розчину, здатності цементного кільця чинити опір навантаженням, що діють на обсадну колону в процесі її будівництва та експлуатації тощо. З плином часу навантаження на цементний камінь у свердловині змінюються: під час опресування обсадних колон, у разі зміни густини рідини, що заповнює свердловину, під час проведення перфорації та інших технологічних операцій, що призводить до пошкодження цементного каменю з утворенням в ньому мікротріщин. Ці мікротріщини візуально виявити неможливо, однак вони

створюють передумови для утворення каналів міграції пластового флюїду.

В Україні налічується близько 62 % нафтових та 25% газових свердловин, термін експлуатації перевищує 20 років [1], що вимагає підвищеної уваги до технічного стану цих свердловин, розробки та впровадження нових технологій, спрямованих на забезпечення герметичності їх заколонного простору.

Результати лабораторних досліджень [2] свідчать, що міцність тампонажного каменю залежить від виду навантаження. У разі стискання вона є найбільшою, менша – у разі вигину ( $\sigma_{\text{зг}} = (0,25 \dots 0,5) \cdot \sigma_{\text{ст}}$ ) і найменша під час розтягування ( $\sigma_{\text{роз}} = (0,1 \dots 0,15) \cdot \sigma_{\text{ст}}$ ). Головною метою армування тампонажного каменю є наближення міцності на стискання до міцності на розтяг.

У практиці для армування тампонажного каменю в процесі цементування свердловин

використовуються три типи армуючих домішок: органічні, мінеральні та штучні.

Армуючі домішки органічного походження мають низьку адгезію до матриці тампонажного каменю [2], низьку механічну міцність та хімічну активність взаємодії між волокнами та матрицею тампонажного каменю, тому широкого використання в практиці цементування не знайшли.

Мінеральною домішкою, що використовується для армування цементу, є хризотил-азбест. В промисловості випускається сім сортів цього мінерального волокна. Дослідженнями авторів [3] встановлено, що додавання до цементу 1,5...3% азбесту 6-го сорту та 1,5...3% хлористого кальцію у водоцементному відношенні 0,5...0,55 покращує деформаційні властивості тампонажного каменю і знижує тріщиноутворення в фільтраційній кірці бурового розчину.

До штучних відносяться армуючі домішки у вигляді кристалів гідросилікатів кальцію типу ксонатліту і тобермориту, а також безводні ниткоподібні кристали типу волластоніту діаметром від 0,1 до 50 мкм та довжиною від 1 до 500 мкм. До цього ж типу армуючих домішок відносять кварцові, базальтові, цирконові волокна та поліпропіленову фібру.

Метою статті є орієнтація наукового пошуку при виборі складу армованих тампонажних розчинів та представлення результатів досліджень, спрямованих на підвищення терміну надійної експлуатації цементного каменю за рахунок покращення його деформаційних характеристик, зокрема з розробки рецептури армованих тампонажних цементних розчинів.

Авторами статті проведено лабораторні дослідження впливу штучних армуючих домішок на міцнісні характеристики сформованого цементного каменю. Для дослідження були обрані найбільш розповсюджені в будівельній промисловості типи армуючих домішок, а саме – три види волластоніту, три види базальтової фібри та поліпропіленова фібра.

Волластоніт – це природний силікат кальцію з таким хімічним складом:  $\text{CaO} - 45...48\%$ ,  $\text{SiO}_2 - 50...53\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,05...0,2\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,1...0,3\%$ ,  $\text{MgO} - 0,4...1\%$ . Фізичні властивості мінералу: густина –  $2900 \text{ кг/м}^3$ , твердість за шкалою Мооса – 4,5...5, показник  $\text{pH} - 9,5...10$ . Сьогодні волластоніт широко використовується в США, Китаї та інших країнах як замітник канцерогенного азбесту. Родовища волластоніту розробляються в Китаї, Індії, Франції та Росії.

В сучасній будівельній практиці волластоніт використовується як добавка до сухих будівельних сумішей різного призначення. Волластоніт підвищує водоутримуючу здатність суміші, забезпечує високу адгезію до поверхонь та стійкість в корозійному середовищі.

Для лабораторних досліджень було обрано три найбільш розповсюджені типи волластоніту: МВ-05-97, МВ-10-97, МВ-30-96. Перша цифра в шифрі назви вказує на середній діаметр частинки, друга – на ступінь близьки.

Дослідження проводились з використанням бездобавочного цементу типу ПЦТ-Д0-50 та водо-цементним відношенням  $\text{В/Ц}=0,5$ . При додаванні добавок значення водо-сумішевого відношення змінювалось відповідно до кількості введеної в розчин добавки.

Для оцінки тенденції руйнування цементного каменю виходили з того, що:

$$\sigma_{\text{ст}} > \sigma_{\text{зг}} > \sigma_{\text{р}},$$

де  $\sigma_{\text{ст}}$ ,  $\sigma_{\text{зг}}$ ,  $\sigma_{\text{р}}$  – межа міцності тампонажного каменю відповідно на стискання, згин та розтяг.

Оскільки стискаючі та розтягуючі напруження є граничними з точки зору міцності, було прийнято рішення обрати основним критерієм оцінки міцнісних характеристик тампонажного каменю критерій руйнівної здатності (КРЗ), тобто відношення величини границі міцності на стискання до границі міцності на розтяг.

Користуючись числовим значенням критерія руйнівної здатності, необхідно вибрати тампонажні матеріали з його мінімальним значенням.

Дослідження властивостей цементного розчину і каменю проводились у відповідності до ДСТУ БВ.2.7.-86-99 [4]. Окрім цих величин визначались такі властивості цементного розчину, як розтічність, фільтрація та густина. Результати досліджень наведені в таблицях 1, 2.

Аналогічні дослідження проводились з додаванням до портландцементу базальтової фібри. Цей продукт виготовляють методом екструзії – протискуванням розплавленої базальтової маси крізь отвори певного діаметра. Базальт – це готовий природний матеріал для виробництва волокон. Він містить (за масою) 45-50%  $\text{SiO}_2$ , 10-20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і до 20%  $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{MgO}$ . Базальтова фібра володіє високою природною міцністю, стійкістю до впливу агресивного середовища, електроізоляційними властивостями, є природною та екологічно чистою сировиною. Базальтові волокна є найбільш оптимальними за показником відношення ціни та якості порівняно з скловолокном та вуглецевим волокном.

Для лабораторних досліджень було обрано три види базальтової фібри: ВМБ 40.Р6, ВМБ 40.Р12, ВМБ 50.Р12. Перша літера в назві вказує на діаметр волокна у мікронах, друга – на довжину фібри в міліметрах.

Результати досліджень наведені в таблицях 3 і 4.

Коливання значень КРЗ (табл. 4) вказує на те, що міцність тампонажного каменю на стискання у часі зростає інтенсивніше, ніж міцність на розтяг.

Порівняння результатів армування цементного каменю з даними інших авторів [4] свідчать, що після семи діб тужавіння та водоцементному відношенні  $\text{В/Ц}=0,5$  КРЗ з тривідсотковою добавкою хризотил-азбесту ( $\text{КРЗ} = 7,2$ ) приблизно рівний КРЗ з семивідсотковою добавкою базальтової фібри марки ВМБ 50.Р12 ( $\text{КРЗ} = 6,92$ ).

Таблиця 1 – Властивості цементного розчину з додаванням волластоніту

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м <sup>3</sup>	Густина розчину, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, см	Фільтрація, см <sup>3</sup> /30 хв
Без добавки	0	3100 ... 3200	1860	22	185
МВ-05-97	3	2900	1870	20,5	173
	7		1880	17	126
	10		1900	16	110
	15		1920	15	70
МВ-10-97	3		1865	19,5	168
	7		1880	17	113
	10		1910	14,5	107
	15		1920	13,5	101
МВ-30-96	3		1875	21	185
	7		1890	19,8	165
	10		1910	16,2	164
	15		1930	14,3	162

Таблиця 2 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб							
		2		7		14		28	
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ
Без добавок	0	$\frac{4,68}{0,53}$	8,83	$\frac{14,5}{1,41}$	10,3	$\frac{16,40}{1,21}$	13,55	$\frac{27,4}{1,64}$	16,7
МВ-05-97	3	$\frac{15,01}{1,55}$	9,73	$\frac{21,6}{1,85}$	11,67	$\frac{22,79}{2,15}$	10,60	$\frac{23,65}{2,01}$	11,77
	7	$\frac{18,44}{1,59}$	11,6	$\frac{24,12}{2,00}$	12,06	$\frac{22,92}{1,77}$	12,95	$\frac{22,45}{2,52}$	8,91
	10	$\frac{17,74}{1,62}$	10,95	$\frac{27,90}{2,12}$	13,16	$\frac{27,03}{1,95}$	13,86	$\frac{24,16}{2,53}$	9,55
	15	$\frac{17,31}{1,65}$	10,49	$\frac{28,4}{2,22}$	12,8	$\frac{27,46}{2,08}$	13,2	$\frac{26,4}{2,53}$	10,45
МВ-10-97	3	$\frac{14,19}{1,55}$	9,16	$\frac{23,40}{1,95}$	12,00	$\frac{22,83}{2,15}$	10,62	$\frac{30,12}{2,27}$	13,27
	7	$\frac{14,10}{1,85}$	7,62	$\frac{25,57}{1,73}$	14,78	$\frac{22,92}{1,77}$	12,95	$\frac{25,28}{2,36}$	10,71
	10	$\frac{13,97}{1,74}$	8,03	$\frac{23,85}{1,75}$	13,63	$\frac{24,4}{1,80}$	13,56	$\frac{25,78}{2,54}$	10,15
	15	$\frac{11,68}{1,48}$	7,89	$\frac{23,98}{1,75}$	13,7	$\frac{25,03}{1,82}$	13,75	$\frac{27,14}{2,75}$	9,87
МВ-30-96	3	$\frac{8,17}{0,93}$	8,78	$\frac{15,72}{1,77}$	8,88	$\frac{22,12}{1,72}$	12,86	$\frac{25,00}{1,85}$	13,5
	7	$\frac{7,60}{0,91}$	8,35	$\frac{20,57}{1,70}$	12,10	$\frac{20,19}{2,13}$	9,48	$\frac{28,93}{2,05}$	14,11
	10	$\frac{11,1}{1,34}$	8,29	$\frac{20,01}{1,91}$	10,48	$\frac{21,41}{2,13}$	10,05	$\frac{25,82}{2,32}$	11,13
	15	$\frac{14,23}{1,77}$	8,04	$\frac{19,36}{2,13}$	9,09	$\frac{5,13}{2,26}$	9,45	$\frac{27,69}{2,54}$	10,9

Таблиця 3 – Властивості цементного розчину з додаванням базальтової фібри

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м <sup>3</sup>	Густина розчину, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, см	Фільтрація, см <sup>3</sup> /30 хв
Без добавки	0	3100 ... 3200	1860	22	185
ВМБ 40.Р6	3	2800	1870	22	163
	5		1875	21,3	152
	7		1880	20,3	101
ВМБ 40.Р12	3		1865	22,3	192
	5		1880	22,2	175
	7		1885	21,7	151
ВМБ 50.Р12	3		1870	22,2	192
	5		1880	22,0	190
	7		1890	22,0	185

Таблиця 4 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб							
		2		7		14		28	
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ
Без добавок	0	$\frac{4.68}{0.53}$	8,83	$\frac{14.5}{1.41}$	10,3	$\frac{16.40}{1.21}$	13,55	$\frac{27.4}{1.64}$	16,7
ВМБ 40.Р6	3	$\frac{9.60}{1.45}$	6,62	$\frac{17.28}{1.61}$	10,73	$\frac{23.16}{2.78}$	8,33	$\frac{25.92}{3.22}$	8,05
	5	$\frac{11.58}{1.64}$	7,06	$\frac{20.84}{2.16}$	9,65	$\frac{22.97}{2.93}$	7,84	$\frac{26.85}{3.25}$	8,26
	7	$\frac{13.86}{1.86}$	7,45	$\frac{18.62}{2.45}$	7,6	$\frac{22.07}{3.19}$	6,92	$\frac{33.67}{3.87}$	8,7
ВМБ 40.Р12	3	$\frac{11.06}{1.50}$	7,37	$\frac{20.1}{2.03}$	9,9	$\frac{24.82}{2.57}$	9,66	$\frac{30.0}{2.42}$	12,4
	5	$\frac{13.76}{2.10}$	6,55	$\frac{23.11}{2.56}$	9,03	$\frac{23.09}{2.71}$	8,52	$\frac{34.81}{2.95}$	11,8
	7	$\frac{11.04}{2.66}$	4,15	$\frac{23.56}{3.12}$	7,55	$\frac{26.07}{3.00}$	8,69	$\frac{29.47}{4.15}$	7,1
ВМБ 50.Р12	3	$\frac{8.78}{1.22}$	7,20	$\frac{28.36}{2.16}$	9,09	$\frac{26.33}{2.31}$	11,4	$\frac{34.35}{3.04}$	11,3
	5	$\frac{10.06}{1.56}$	6,45	$\frac{20.65}{2.54}$	8,13	$\frac{21.76}{2.41}$	9,03	$\frac{27.50}{3.10}$	8,87
	7	$\frac{9.27}{1.80}$	5,15	$\frac{20.46}{2.94}$	6,96	$\frac{23.92}{2.76}$	8,67	$\frac{32.86}{3.16}$	10,4

Поліпропіленова фібра (ППФ), як і базальтова, виготовляється методом екструзії. Довжина волокна фібри становить 12 мм, а його діаметр — 10 мкм. Результати досліджень властивостей цементного розчину з додаванням поліпропіленової фібри зведені до таблиць 5 та 6.

Результати досліджень свідчать, що ефект зниження КРЗ цементного каменю з додаванням поліпропіленової фібри високий, однак технологічні властивості розчину (розтічність і фільтрація) не відповідають вимогам ДСТУ [4].

## Висновки

Добавка мікроволластоніту практично не створює ефекту армування тампонажного каменю і не може бути рекомендована для практичного використання як окремо взята армуюча домішка.

2. Результати досліджень властивостей цементного розчину і каменю з додаванням базальтових волокон марки ВМБ-40.Р12 більше 5% та поліпропіленової фібри 0,5...1% підтверджують ефективність їх використання в якості армуючих домішок. Однак, при додаванні ППФ

Таблиця 5 – Властивості цементного розчину з додаванням поліпропіленової фібри

Тип добавки	Вміст добавки, %	Густина порошку, кг/м <sup>3</sup>	Густина розчину, кг/м <sup>3</sup>	Розтічність, см	Фільтрація, см <sup>3</sup> /30 хв
Без добавки	0	3100 ... 3200	1860	22	185
Поліпропіленова фібра	0,2	910	1860	19,2	175
	0,5		1850	15,6	168
	0,7		1850	13,2	160
	1		1840	10,9	152

Таблиця 6 – Зміна КРЗ тампонажного каменю в часі

Тип добавки	Вміст добавки, %	Час зберігання зразків до моменту випробування, діб							
		2		7		14		28	
		$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ	$\frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p}$ МПа	КРЗ
Без добавок	0	$\frac{4,68}{0,53}$	8,83	$\frac{14,5}{1,41}$	10,3	$\frac{16,40}{1,21}$	13,55	$\frac{27,4}{1,64}$	16,7
Поліпропіленова фібра	0,2	$\frac{4,48}{0,62}$	7,23	$\frac{13,2}{1,45}$	9,11	$\frac{16,48}{1,47}$	11,21	$\frac{16,47}{1,50}$	10,98
	0,5	$\frac{5,38}{0,8}$	6,73	$\frac{14,34}{1,77}$	8,1	$\frac{16,21}{1,62}$	10,01	$\frac{13,18}{1,56}$	8,45
	0,7	$\frac{4,12}{0,82}$	5,03	$\frac{11,69}{1,79}$	6,53	$\frac{12,23}{1,65}$	7,41	$\frac{11,73}{1,69}$	6,94
	1	$\frac{2,73}{0,85}$	3,21	$\frac{7,48}{1,81}$	4,13	$\frac{7,82}{1,7}$	4,6	$\frac{6,23}{1,73}$	3,6

понад 0,5% розтічність цементного розчину знижується і виходить за допустимі межі.

3. Для підвищення розтічності необхідно провести дослідження властивостей цементного розчину з добавкою пластифікаторів.

### Література

1 Тершак Б.А. Стан та перспектива забезпечення надійності заколонного простору кріплення свердловин на пізній стадії розробки родовищ України [Текст] / Б.А. Тершак, Я.С. Коцкулич, М.В. Сенюшкович // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №2(23). – С. 123-126.

2 Булатов А.И. Формирование и работа цементного камня в скважине [Текст] / А.И. Булатов. – М.: Недра, 1990. – 407 с.

3 Колесник В.И. Совершенствование методов повышения герметичности заколонного пространства скважин подземных хранилищ [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.15.06 «Бурение скважин» / В.И. Колесник – Ивано-Франковский национальный технический ун-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1990. — 18 с.

4 Цементи тампонажные. Методы випробувань [Текст] : ДСТУ БВ.2.7.-86-99 (ГОСТ 26789.1-96) – К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. – 22 с.

5 Булатов А.И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин [Текст] : учеб. для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп./ А.И. Булатов. – М.: Недра, 1991. – 336 с.

Стаття поступила в редакційну колегію

17.05.11

Рекомендована до друку професором

М.А. Мислюком